



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator AC

Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik dengan induksi elektro magnetik yang diubah menjadi tenaga listrik. Maka dari itu generator merupakan komponen utama pada pembangkit listrik. Sedangkan komponen utama dari sebuah generator adalah, stator dan rotor.

Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (alternating current), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala.

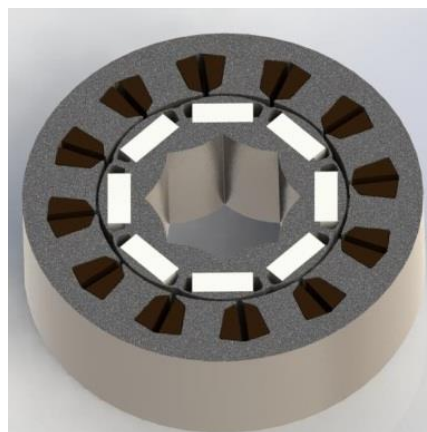
2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh prime mover, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau flux yang bersifat bolak-balik atau flux putar. Flux putar ini akan memotong-memotong kumparan stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari flux putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator yang bersifat bolak – balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor. Frekuensi elektrik yang di hasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian electromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor.

2.3 Generator Permanen Magnet

Generator permanen magnet adalah generator yang medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Generator permanen magnet memiliki prinsip kerja yang sama dengan generator sinkron tetapi pada rotornya kumparan medan diganti dengan magnet permanen. Generator permanen magnet menghasilkan flux pada kutub-kutub rotor yang memotong kumparan jangkar sehingga menghasilkan GGL bolak-balik pada ujung stator sehingga kumparan jangkar pada stator menghasilkan tegangan induksi.

Rotor merupakan bagian berputar yang ada pada generator. Pada generator permanen magnet, rotor merupakan tempat tersusunnya magnet permanent sebagai pembangkit medan magnet yang diperlukan untuk pembangkit listrik. Induksi elektromagnetik yang ada pada generator permanent magnet menggunakan hukum *faraday* yang berbunyi “adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL pada kumparan tersebut”. Tidak hanya hukum *faraday*, pada generator permanent magnet ini digunakan hukum *lenz* yang berbunyi “GGL induksi yang muncul berlawanan arah dengan perubahan fluks menyebabkan arus mengalir”. Gambar stator dan rotor magnet permanent dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.

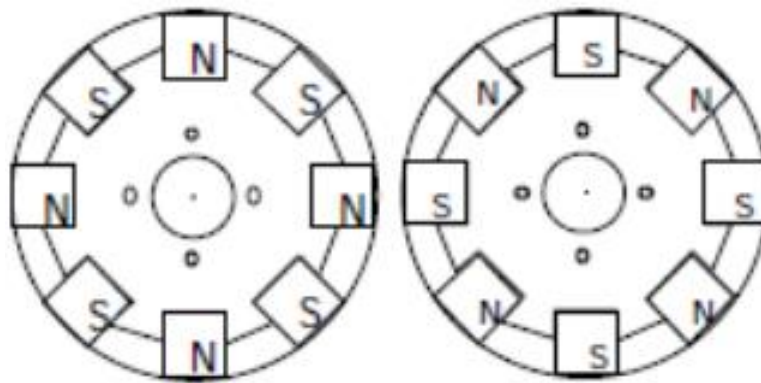


Gambar 2.1 Stator dan rotor generator permanen magnet.

Stator merupakan bagian yang tidak berputar pada generator. Stator akan menarik medan magnet yang dihasilkan oleh rotor dan kumpulan medan magnet telah terinduksi dan menjadi tegangan ataupun arus. Pada stator terdapat kumparan/lilitan yang juga disebut *coil*, *coil* terpasang tetap pada inti stator sehingga tidak dapat berputar.

Untuk penempatan *coil* pada stator terdapat *slot* atau sering juga disebut alur stator. *Slot* berbanding terbalik dengan belitan oleh karena itu apabila ingin memperbesar daya keluaran caranya dengan memperkecil jumlah slot dan memperbanyak jumlah lilitan.

Pole merupakan sepasang kutub yang berhadapan, dapat dilihat pada Gambar 2.2, hal tersebut tujuannya agar terjadi gaya tarik menarik antar magnet sehingga apabila ada kumparan pada stator akan tercipta gaya induksi elektromagnetik.



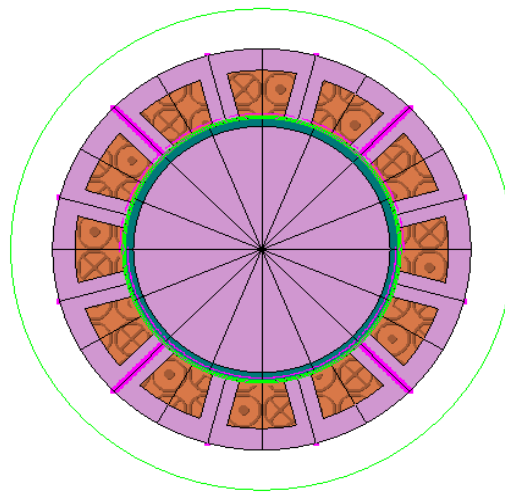
Gambar 2. 2 Urutan Kutub Magnet.

2.4 Permodelan Generator

Perancangan generator menggunakan software merupakan hal yang sangat dibutuhkan sebelum melakukan pembuatan generator karena mampu mensimulasikan diameter, material, ketebalan, jumlah lilitan, dan kecepatan putar generator sehingga nantinya ketika melakukan pembuatan generator bisa mencapai keberhasilan yang tinggi. Para peneliti sebelumnya ketika membuat

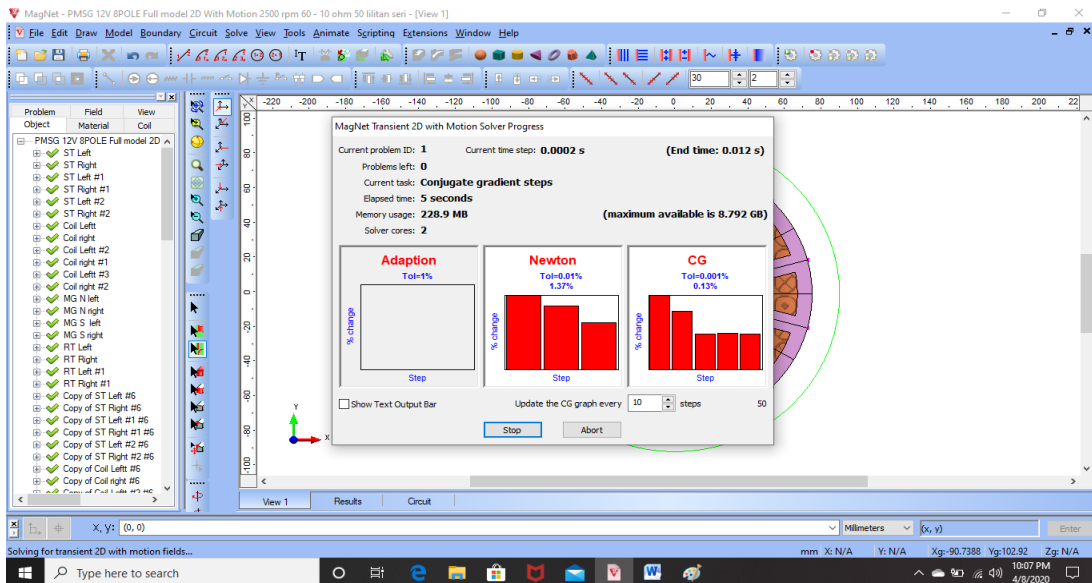
generator itu tidak melakukan suatu simulasi menggunakan *software* ini, infolytica merupakan *software* yang mampu mensimulasikan generator dan melakukan pembuatan tanpa ada simulasi terlebih dahulu sehingga hasil yang di capai masih kurang dari target yang diinginkan. *Software design electromagnetic generator* merupakan *software* yang berbasis *finite element method* (FEM) atau metode pembagan tak hingga.

Pada simulasi, penulis membuat model penuh generator 12 Slot 8 Pole, sehingga akan menampilkan model penuh sebuah generator. Dan untuk menghasilkan suatu desain generator butuh beberapa pertimbangan yaitu daya keluaran yang diinginkan dari generator, efisiensi yang di dapatkan, dan juga kebutuhan yang diinginkan dari generator.



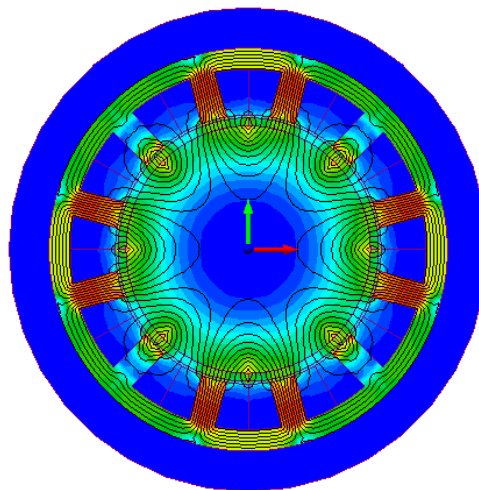
Gambar 2.3 Desain PMSG Full Model

Setelah melakukan desain PMSG 12 Slot 8 Pole pada *software* desain *electromagnetic* berbasis *Finite Element Method* (FEM) maka akan di lakukan simulasi berupa perintah *Solving* pada *software* untuk mendapatkan nilai yang di inginkan berupa arus, tegangan, torsi.



Gambar 2.4 Proses Solving Pada PMSG

Setelah dilakukan simulasi *Solving*, pada software *Finite Element Method* (FEM) juga dapat melihat flux magnet yang terjadi pada desain PMSG yang telah di buat. Tujuan di tampilkan flux magnet pada desain PMSG yaitu untuk mengecek dan melihat apakah ada flux magnet yang tidak sesuai pada desain PMSG yang telah di buat.



Gambar 2.5 Flux Magnet Pada PMSG 12 Slot 8 Pole

2.5 Pengaturan Simulasi Kecepatan dan Pembebanan

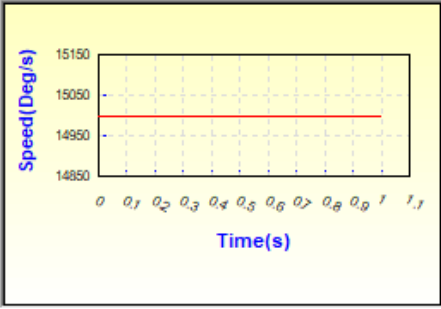
Input kecepatan dengan *software* magnet disimulasikan dengan cara memasukkan data konversi. Kecepatan konversi menjadi Deg/s dengan waktu yang di butuhkan untuk satu putaran (360°) adalah 360/Deg/s. Variasi putaran menggunakan kecepatan 1500 Rpm, 2000 Rpm, dan 2500 Rpm dengan pengkonversian dalam *software* ini menggunakan tool motion seperti yang ada di gambar.

Motion#2 Properties

General Load Mass Limits Position References Parameters

Speed based

	Time	Speed
	s	Deg/s
1	0	15000
2	1	15000
3		
4		
5		
6		



Position at startup: 0 Degrees

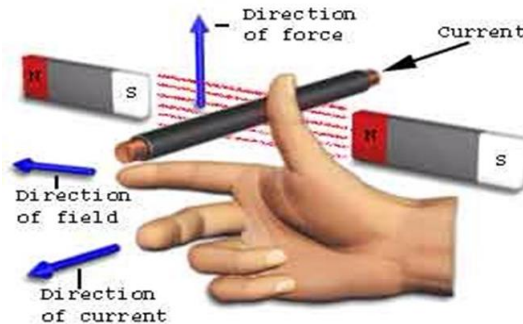
Speed at startup: 0 Degrees/second

Close Cancel Apply

Gambar 2.6 Pengaturan Kecepatan 2500 Rpm

Pembebanan simulasi ini dengan cara memvariasi beban yaitu beban 10,20, dan 30 ohm dengan membuat rangkaian elektronik pada kumparan sehingga dapat mendapatkan nilai tegangan dan arus dari output desain generator.

2.6 Kaidah Tangan Kanan



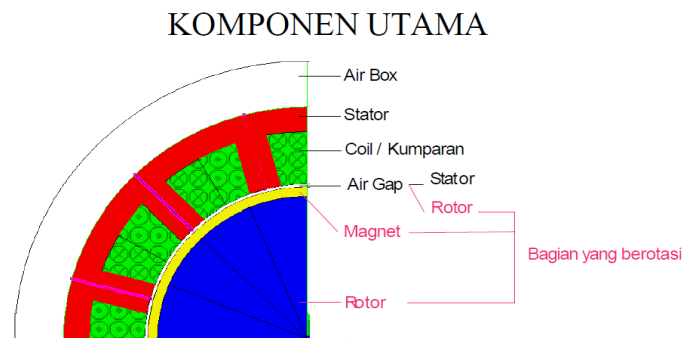
Gambar 2.7 Right Hand Law Fleming

Memahami hukum Faraday, kita tidak dapat lepas dengan kaidah tangan kanan yang diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming. Kaidah tangan kanan Fleming adalah sebuah metode mnemonik untuk memudahkan kita menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Jika anda menirukan posisi jari tangan kanan anda seperti pada gambar di atas, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.

Kembali pada skema komponen-komponen generator AC di atas, rotor generator diskemakan dengan sebuah kawat angker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Masing-masing ujung kawat angker terhubung dengan cincin logam yang biasa kita kenal dengan sebutan slip ring. Slip ring ini termasuk bagian dari rotor, sehingga ia ikut berputar dengan rotor. Komponen slip ring inilah yang membedakan generator AC dengan generator DC. Jika dalam generator DC digunakan cincin belah sebagai pembangkit arus, pada generator AC slip ring berbentuk lingkaran penuh dan terhubung dengan masing-masing ujung *armature*. Untuk sisi stator generator tersusun atas dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan.

2.7 Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron mempunyai dua komponen utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak).



Gambar 2.8 Komponen Utama Generator Sinkron

A. Rotor

Rotor merupakan komponen dari generator yang bergerak, pada rotor terdapat kutub-kutub dari magnet dengan lilitan-lilitan kawatnya yang dialiri oleh arus searah.

B. Stator

Stator merupakan komponen dari generator yang tidak bergerak, rangka dari stator terbuat dari besi baja untuk penopang lilitan sebagai penghantar listrik.

C. Magnet

Magnet merupakan komponen dari generator yang bergerak memutar yang berguna untuk menghasilkan ggl induksi.

D. Umbrella

Umbrella merupakan komponen yang berada dibawah lilitan, yang berguna untuk menopang lilitan lilitan agar tidak jatuh serta digunakan untuk menangkap flux magnet.

E. Air Gap dan Air box

Air gap adalah rongga yang berada di bagian antara stator dan rotor. Sedangkan air box adalah rongga yang berada paling luar dari generator.



F. Medan magnet

Medan magnet adalah daerah yang berada di sekitar magnet yang menyebabkan munculnya gaya muatan listrik benda bergerak lainnya.

Rumus yang akan digunakan :

Tegangan

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

V = Tegangan

I = Arus

R = Tahanan

Arus

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

I = Arus

V = Tegangan

R = Tahanan

Kecepatan putar rotor¹

$$n = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

n = kecepatan putar (rpm)

f = frekuensi (Hz)

¹Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 26



Pada software magnet kecepatan putar (rpm) harus dirubah menjadi kecepatan angular menggunakan rumus tersebut.

$$\omega = \frac{360^\circ}{60 s} \times n \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Ω = angular (deg/s)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

Daya input

Daya input² pada generator dihasilkan dari torsi dan kecepatan putar pada rotor dapat dirumuskan :

$$P_{IN} = Q \times \omega \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

P_{IN} = Daya input

Q = Torsi

ω = Putaran

Daya Output

Rumus Daya output³ pada generator ini adalah :

$$P_{OUT} = V \times I \dots\dots\dots (2.6)$$

P_{out} = Daya output

V = Tegangan

I = Arus

Efisiensi

Efisiensi ini dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran generator terhadap daya masukan awal generator yang dapat dijabarkan sebagai berikut⁴ :

$$\text{Efisiensi}(\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.7)$$

² Sumber : Himran, S, *Energi Angin*, (2019), Hal 69

³ Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 35

⁴ Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 56

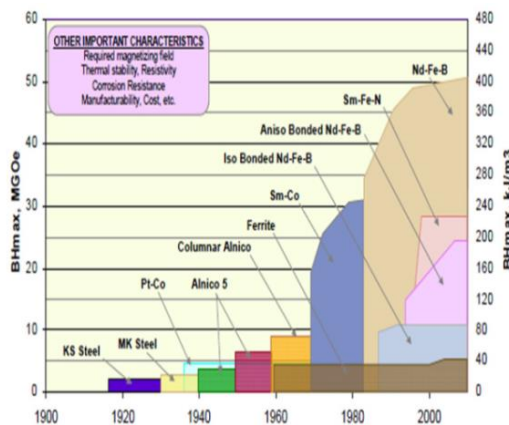
2.8 Aplikasi Magnet 7.5



Gambar 2.9 Gambar Aplikasi MagNet 7.5

Aplikasi MagNet 7.5 adalah laboratorium virtual untuk memodelkan perangkat elektromagnetik pada komputer pribadi. Pada Gambar 2.9 diatas merupakan ikon dari MagNet 7.5. Pada aplikasi ini dapat memodelkan dari bahan magnetik, memodifikasi model generator, dan menganalisa hubungan fluks dan gaya. Pada aplikasi ini dapat menghasilkan pemodelan 3D dan pemodelan 2D, namun untuk pemodelan 3D akan memakan waktu sangat lama pada saat solving berjalan karena grafik untuk 3D lebih besar dari 2D. Pada aplikasi ini juga dapat menghitung jumlah gaya dan torsi (introduction MagNet7.5).

Perkembangan material magnet permanen sangat cepat sejak 1900-an hingga saat ini, diikuti dengan semakin meningkatnya karakteristik magnet yang dihasilkan.



Gambar 2.10 Perkembangan Magnet Permanen



Jenis magnet permanen yang biasa digunakan dalam motor diantaranya adalah :

a. Alnico

Magnet ini memproduksi desitas fluks yang tinggi tetapi memiliki gaya koersif yang rendah. Ketika gaya koersif rendah dan dua magnet yang saling berhadapan berada pada jarak yang cukup dekat, kutub – kutub magnet dapat saling melemahkan.

b. Ferrite atau ceramic magnet

Tidak seperti Alnico, magnet ini memiliki densitas fluks yang rendah tetapi memiliki gaya koersif yang tinggi. Magnet Ferrit banyak digunakan karena bahan dan produksinya murah Rare earth-magnet (Samarium-cobalt magnet).

c. *Rare Earth- Magnet* (Samarium-cobalt magnet)

Magnet jenis ini memiliki magnetic remanen dan gaya koersif yang tinggi. Dikarenakan harga dari magnet ini yang mahal, magnet ini pertama kali digunakan di servomotor pesawat dan peralatan militer. Sejak saat itu penggunaannya mulai meluas.

d. Neodymium Iron Boron (NdFeB)

Karakteristik magnet permanen yang paling tinggi saat ini adalah Neodymium Iron Boron (NdFeB), yang memiliki nilai produk energi maksimum sampai dengan 400 kJm^3 . Kebutuhan akan magnet permanen khususnya NdFeB setiap tahun semakin meningkat terutama untuk kebutuhan *hardware* komputer dan energi khususnya *wind power*.